

Wirtschaftsgeschichtliche Quellen im Dienste der Klimaforschung

Einleitung

Sowohl Historiker als auch Naturwissenschaftler sind an der Klimageschichte interessiert. Erstere möchten untersuchen, inwieweit geschichtliche Abläufe oder Ereignisse durch das Klima beeinflusst oder gar verursacht wurden, letztere sind daran interessiert, ein besseres Verständnis des heutigen Klimas, insbesondere von dessen Stabilität, zu gewinnen und die Ursachen von Klimaschwankungen zu ergründen. Beide Zweige der Wissenschaft haben schon bisher Beiträge zur Geschichte des Klimas beigetragen. Direkte objektive Aufzeichnungen von Klimaparametern findet man erst seit Ende des 17. Jahrhunderts, das heißt seit Beginn der Instrumentenbeobachtung (RUDLOFF, 1967). Für die vorausgehende Zeit ist man auf zufällige Einzelausgaben angewiesen; klimageschichtlich sind es nur indirekte Angaben. Wohl findet man in den Chroniken Berichte von auffallenden klimatischen Besonderheiten und Witterungsanomalien, wie z. B. von «nassen Sommern» oder «strengen Wintern», die jedoch einer sehr subjektiven Wertung entspringen können. So wird z. B. in einer milden Epoche auch ein normaler Winter als sehr streng empfunden. Deshalb ist man, um für die Zeit vor der Instrumentenbeobachtung objektive und kontinuierliche Angaben zu erhalten, auf indirekte Angaben angewiesen, also auf solche, die sich objektiv als Auswirkungen der «Klimagunst» nachweisen lassen. E. LADURIE (1967) empfiehlt als indirekte Quellen vor allem Berichte von Gletscherständen (auch in Form von Zeichnungen) und Aufzeichnungen von Erntedaten und Ernteerträgen, wobei er ersteren den Vorzug gibt. In der hier vorgelegten Untersuchung werden Ernteerträge des Getreidebaues ausgewertet. Wir sind uns bewußt, daß die Jahresernten nicht nur vom Klima abhängen. Politische Ereignisse, Kriege, Seuchen bei Mensch, Tier oder Frucht, können klimatische Einflüsse überdecken. Auch lokal beschränkte, witterungsbedingte Einzelereignisse, wie Frühlingsfröste, oder Hagelschläge, die in einer Chronologie des allgemeinen Klimas von keinerlei Bedeutung oder Interesse sind, beeinflussen die Ernteerträge. Trotzdem haben diese jedoch etwas Faszinierendes, da sie uns nicht nur Angaben über klimatische Schwankungen vermitteln, sondern auch gleich deren Auswirkungen vor Augen führen. Dazu ist allerdings nötig, alle nicht-klimatischen Einflüsse herauszufiltern. Eine solche Möglichkeit besteht darin, daß man die Ernteerträge

mit «Klimadaten», die auf ganz andere Weise gewonnen wurden, vergleicht. Solche Daten liefern uns zum Teil die Naturwissenschaften. Im Vordergrund stehen die Untersuchungen von Baumringen (Dendrochronologie) (FÜRST, 1963), HUBER, 1964, SCHULMANN, 1953) und die Untersuchung von Schneeschichten, die sich in Gletschern und Eiskappen (DANSGAARD, 1973), ähnlich wie bei den Baumringen, in jährlichen Schichten übereinanderlagern. Selbst diese Methoden sind nicht frei von Fremdeinflüssen. Die Breite eines Baumrings hängt nicht nur von klimatischen Gegebenheiten, sondern auch von den Konditionen des Baumes selber und von der Ökologie seiner Umgebung ab. Bei den Untersuchungen von Bohrkernen aus Gletschern oder Eiskappen treten ähnliche Effekte auf, wie wir sie später noch diskutieren werden. Wir vergleichen in dieser Arbeit Erntedaten aus dem alten Berner-Aargau (zwischen Zofingen und Reuß) mit Ergebnissen von Eiskernen aus Grönland.

Die historischen Daten

In den schriftlichen Quellen zur Regionalgeschichte lassen sich erst die Jahrhunderte seit 1300 genauer fassen. Wir erfahren beispielsweise, daß um 1330 Hochwasser der Aare Brücken und Ufergebiete zerstört haben, oder auch, daß zwischen 1530 und 1555 sowie zwischen 1590 und 1605 arge Hochwasserschäden verzeichnet wurden. Auch die Jahrzehnte zwischen 1630 und 1670 wie auch jene in der Mitte des 18. Jahrhunderts sind verhältnismäßig reich an solchen Meldungen über Wirkungen der Hochwasser. Solche Angaben vermitteln uns interessante Hinweise, dienen aber kaum zu einer quantitativen Klimachronologie, wie schon einleitend bemerkt wurde, da Hochwasserkatastrophen auch während eines Klimaoptimums auftreten können.

Wir haben nun ein Untersuchungsgebiet ausgewählt, das Gewähr für eine möglichst konstante Anbaufläche für den untersuchten Zeitraum bot und politisch möglichst stabile Verhältnisse aufwies. Die Quellenlage des Dorfes Küttigen (nördlich von Aarau) schien diesen Voraussetzungen gerecht zu werden. Die zehntpflichtige Fläche des Dorfes blieb über fast 300 Jahre

Dr. B. Stauffer, Institut für angewandte Physik, Universität
Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern
Dr. A. Lüthi, Käfergrund 5, 5000 Aarau

hinweg erstaunlich konstant. Die eigentlichen Grund- und Bodenzinse, die starr fixiert waren, konnten wir für unsere Untersuchung nicht verwenden, da höchstens ausnahmsweise ein katastrophal schlechtes Jahr seinen Niederschlag in den Verzeichnissen der Abgaben (Amtsrechnungen) fand. Die Abgaben hatten somit immer dieselbe Höhe, ob die Ernten gut oder schlecht waren. Die Zehnten dagegen bilden ein an sich ideales Informationsmaterial, da sie mit den wirklichen Erträgen auf und ab schwankten. Es muß bei deren Verwendung allerdings berücksichtigt werden, daß einzelne Angaben fehlen, einzelne Jahre aus irgendwelchen Gründen ausgefallen sind, oder daß das «Rechnungsjahr» im Lauf der Zeit verändert wurde. Trotz solchen «Störfaktoren» ist es erstaunlich, wie konstant in Küttigen die Voraussetzungen von der Reformation bis zur Französischen Revolution geblieben sind. Sehr eindrücklich zeigt sich – dies nebenbei erwähnt –, wie einer dauernd wachsenden Bevölkerung eine fast gleichbleibende Erntefläche gegenüberstand. Auch die Nutzung der Brache im späteren 18. Jahrhundert scheint sich auf die Getreideproduktion kaum ausgewirkt zu haben. Den geringfügigen Neuodungen im 16., 17. und 18. Jahrhundert steht die Verarmung der Böden gegenüber. Die geringe Zunahme der Fläche – sie dürfte 5–10% kaum überschritten haben – kann für unsere Untersuchung eliminiert werden. Dies wird durch den Verlauf der *Ertragskurven* von Küttigen bestätigt (Fig. 2, Staatsarchiv Aargau).

Für den rund 270 Jahre messenden Zeitraum (1529–1796) standen zwei Produkte des Ackerbaues zur Verfügung, deren Ertragszahlen sich verwenden ließen, *Korn* (von 1529–1567 stand an seiner Stelle Fäsen) und *Haber*. In einer ersten Untersuchung hofften wir, anhand der Preisschwankungen auf die eingangs gestellte Frage eine Antwort zu erhalten. Das Ergebnis war enttäuschend. Es spiegelten sich in der aufgezeichneten Kurve wohl soziale und geschichtliche Ereignisse, nicht aber klimatisch bedingte Einflüsse. Die jährlichen *Zehnterträge* von Küttigen, getrennt für Haber und Korn, sind in Figur 2 dargestellt. Sie repräsentieren, wie es der Name sagt, den zehnten Teil der Ernte. Die Kurven zeigen einerseits gute und schlechte Ernten an, andererseits lassen sich auch Langzeit-Schwankungen erkennen. Gerade bei diesem Zahlenmaterial sind wir in der Lage, nichtklimatische Einflüsse in großer Zahl festzustellen. Durch sie

lassen sich zahlreiche Tiefwerte erklären. Wenn den Zeitgenossen *extreme Witterungseinflüsse* auffielen, machte man diese für den schlechten Ertrag verantwortlich. Die Amtsrechnungen der Landvogtei Biberstein, in der Küttigen das bevölkerungsstärkste Dorf war, vermitteln uns diesbezügliche Angaben, die anschließend aufgeführt werden.

Schon in den ersten Jahrzehnten der Bernerzeit finden wir überdurchschnittlich viele schlechte Fäsen(Korn)-Ernten. Zum Ergebnis der Getreideverkäufe bemerkte der damalige Landvogt: «(dann) hab ich den armen Zinsleuten Kernen und Fäsen verkauft, Kernen um 25 Batzen, Väsen um 8 Batzen das Mütt». Noch viel schlechter müssen jedoch die Jahre 1531 und 1535 gewesen sein. 1531 wurde weder Getreide noch Wein abgeliefert; daraus können wir folgern, daß alle Sparten der Landwirtschaft miserabel abgeschlossen hatten. 1535 fiel wenigstens nur der Wein aus, und vom Getreide das Korn, während die Haberernte gut war. 1552 war ein schlechtes Weinjahr, dagegen ein gutes Fruchtjahr. Als sehr schlechtes Jahr, für alle Sparten der Landwirtschaft, muß das Jahr 1568 bezeichnet werden. 1577 fiel der Haber aus, und zwar eines verheerenden Gewitters wegen, wie vermerkt wurde: «... an Haber nüt, da ine der Hagel auch allen geschlagen hat». Außerordentlich mißlich muß es um die Ernten der Jahre 1554 bis 1566 bestellt gewesen sein, von denen die Abgaben fehlen. Fast so schlimm stand es mit dem Jahr 1582, da weder Wein noch Korn verzehntet wurden. Und schließlich endet das Jahrhundert ebenfalls sehr düster für Herren und Untertanen: Weder Korn, noch Haber oder Wein konnten abgeliefert werden. Verhältnismäßig schlecht fiel die Ernte 1591 aus, und zwar wegen anhaltender Trockenheit. Auch aus dem 17. und 18. Jahrhundert liegen Zeugnisse von schlechter Witterung vor. 1645 wurde der Küttiger Zehnten durch das «Wetter geschlagen», und 1747 erließen die Gnädigen Herren der Gemeinde Biberstein den Zins, da sie, die Bauern, wegen Sturm und Hagel geschädigt worden waren.

Politische Ereignisse, wie Unruhen oder Kriege, können für unsere Untersuchung ausgeklammert werden, da die Berner Herrschaft für den Unteraargau eine völlig friedliche Zeit bedeutete. Weder der 30jährige Krieg, noch die eidgenössischen Bruderkriege haben sich ausgewirkt. Dagegen haben wir das Quellenmaterial, um die verheerenden Einwirkungen der Pestwellen im 17. Jahrhundert auf die Bevölkerungssubstanz, und

damit indirekt auf die landwirtschaftlichen Erträge, nachzuweisen (Fig. 4). Die jährliche Zahl der Sterbefälle ist uns seit 1610 bekannt. Die Totenrödel enthalten meist nur die Angaben für die gesamte Kirchgemeinde, von der Küttigen etwa $\frac{2}{3}$ und Biberstein etwa $\frac{1}{3}$ der Bevölkerung ausmachte.

Ein Zusammenhang zwischen dieser Kurve, die erschreckende Ausschläge in den Pestjahren zeigt, mit den Zehnterträgen scheint naheliegend, wobei allerdings über die Kausalität nicht viel ausgesagt werden kann. Die Anfälligkeit der Bevölkerung gegenüber Seuchen kann ebenso gut durch Mißwachs erhöht gewesen sein, wie andererseits die zahlreichen Todesfälle die Zahl der Arbeitskräfte und damit indirekt die Erträge verminderten. Wohl sorgte die Regierung, wie seit 1605 in den Jahresabschlüssen der Grafschaft Lenzburg zum Ausdruck kommt, für Getreidevorräte, die in Notzeiten abgegeben wurden. Eine Unterernährung der ärmeren Bevölkerungsschichten war aber wohl trotzdem nicht auszuschließen.

Für die folgende Diskussion verwenden wir gefilterte Daten. In Figur 3 sind die gleitenden Mittelwerte über zehn Jahre der Abgaben von Küttigen dargestellt. Einzelne Extremwerte werden in dieser Darstellung gedämpft, und die generellen Trends werden besser sichtbar. Trotzdem der Haber eine Sommerfrucht und zudem sehr widerstandsfähig ist, fällt auf, daß er in dieser Darstellung einen im gesamten gesehen parallelen Kurvenverlauf wie das Korn aufweist. In der Darstellung der Jahreswerte (Fig. 2) sieht man, daß die jährlichen Variationen beim Korn größer sind als beim Haber. Darin kommt die allgemein bekannte Tatsache zum Ausdruck, daß es sich beim Haber um eine viel robustere Körnerfrucht handelt. Dem Hagel ist natürlich auch er nicht gewachsen, und so erfahren wir einmal, die Haberernte sei durch ein sommerliches Gewitter vollständig vernichtet worden.

Wenn wir die graphische Darstellung der gleitenden Mittelwerte über zehn Jahre in Figur 3 betrachten, sehen wir folgende Tendenzen: Ein Minimum liegt in der Reformationszeit, dann steigen die Erträge bis etwa 1560/70 an, fallen bis 1590 etwas ab, erholen sich wieder und erreichen um 1610 ein zweites Maximum. Anschließend sinken die Erträge wieder ab bis etwa 1650/60, darauf erfolgt ein erneuter Anstieg bis zu einem Maximum um 1730, es erfolgt nochmals ein kleiner Rückgang; dann erreichen die Erträge um 1780 wiederum ein Maximum.

Ein erster Test, ob diese Ertragsschwankungen durch weiträumig wirksame Klimaschwankungen verursacht wurden, liegt im Vergleich mit den Erträgen von anderen Ortschaften. Als Quellenmaterial wurden zunächst die Amtsrechnungen der Küttigen-Biberstein benachbarten Grafschaft Lenzburg ausgewählt. Es zeigt sich, daß hier die Bedingungen etwas schlechter sind. Die Statistik kann nur bis 1555 zurückverfolgt werden, wodurch ein charakteristischer Teil der Daten ausfällt, und es ist hier gar nicht so einfach, Zehntengebiete zu finden, die über eine lange Zeitdauer die eingangs erwähnten Bedingungen erfüllen. Schließlich blieben drei Ertragsreihen: Kölliken (Korn/Dinkel), Othmarsingen (Roggen) und Lenzburg (Dinkel). Fehlende Ertragszahlen sind relativ selten. Von den drei Ertragsreihen wurden wiederum die gleitenden Mittelwerte über zehn Jahre gebildet; die Ergebnisse sind, nochmals zusammen mit den Werten von Küttigen, in Figur 5 dargestellt.

Die Getreidemaße waren damals *Mütt* oder *Malter*. Alle für diese Studie verwendeten Angaben wurden in Mütt umgerechnet, wobei allerdings zu beachten ist, daß ein Mütt nicht für alle Getreidearten die gleichen Mengen beinhaltete und daß die Maße von Stadt zu Stadt und von Landvogtei zu Landvogtei änderten. Für die Grafschaft Lenzburg können wir einen Mütt Kernen mit etwa 70 kg, einen Mütt Haber mit 42–49 kg veranschlagen, während ein Mütt Roggen auf etwa 66 kg zu schätzen ist.

Für unsere Betrachtung spielen die absoluten Werte keine Rolle, da es ja um die Veränderungen der Ertragswerte geht.

Auf eine Besonderheit, die Lenzburg betrifft, möchten wir nebenbei hinweisen. Allen Schwankungen überlagert ist ein auffälliger Dreijahresrhythmus, der selbst in den gefilterten Kurven noch deutlich sichtbar ist und der bei den anderen Ortschaften fehlt. Eine Erklärung für diese Schwankungen mit einer Periode von drei Jahren wäre in sehr ungleich großen Zelgflächen zu finden.

Der Vergleich der Ertragskurven der vier Ortschaften in Figur 5 zeigt, daß einige der erwähnten Schwankungen von Küttigen auch bei den Erträgen der anderen Ortschaften auftreten. Andere markante Maxima oder Minima finden sich nur in einer oder zwei Kurven. Der mathematische Vergleich der 5 Ertragsreihen, eine Korrelation der Jahreserträge, bestätigt lediglich diese Aussage. Die Korrelationskoeffizienten der Ertrags-

Fig. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets

Fig. 2: Zehnterträge des Dorfes Küttigen (Haber = Sommerfrucht, Korn = Winterfrucht).

Fig. 3: Zehnterträge Küttigen, gleitende Mittelwerte (über 10 Jahre).

Fig. 4: Sterbefälle in der Pfarrei Kirchberg (Küttigen und Biberstein).

Fig. 5: Zehnterträge im ehemaligen Berner Aargau.

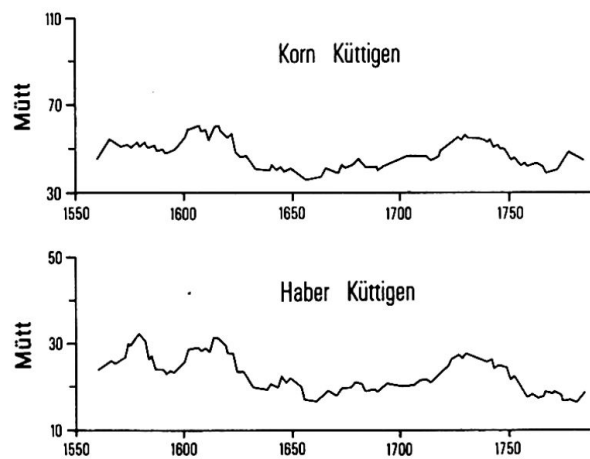
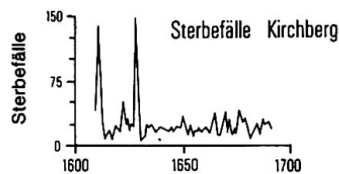
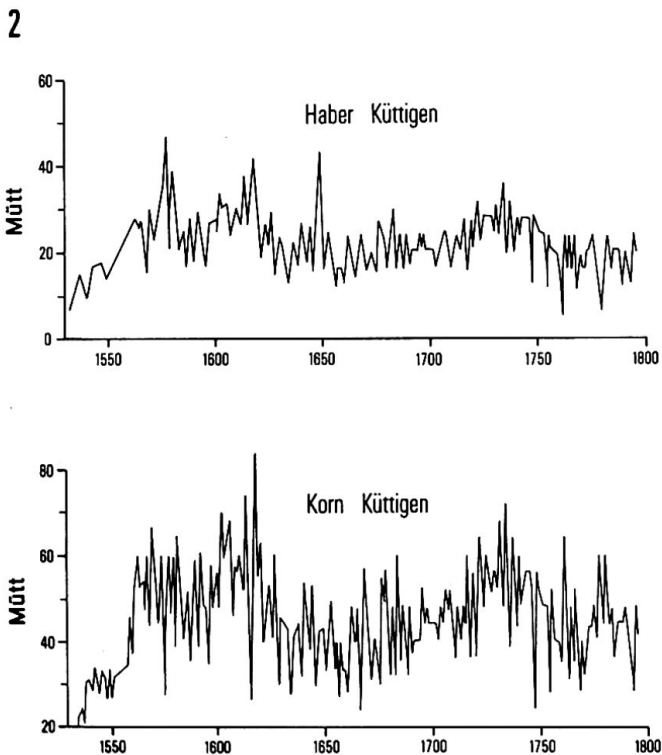
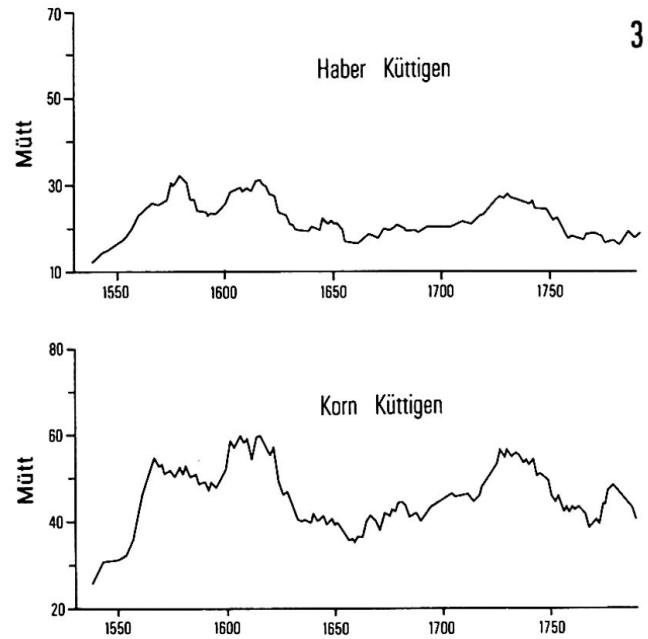
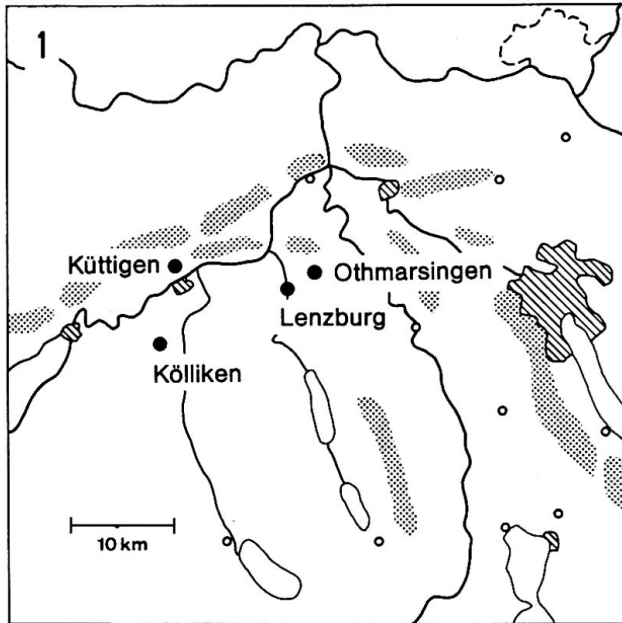


Fig. 5: Zehnterträge im ehemaligen Berner Aargau.

Fig. 6: Gleitende Mittelwerte von Grönland und der Summe des Aargaus.

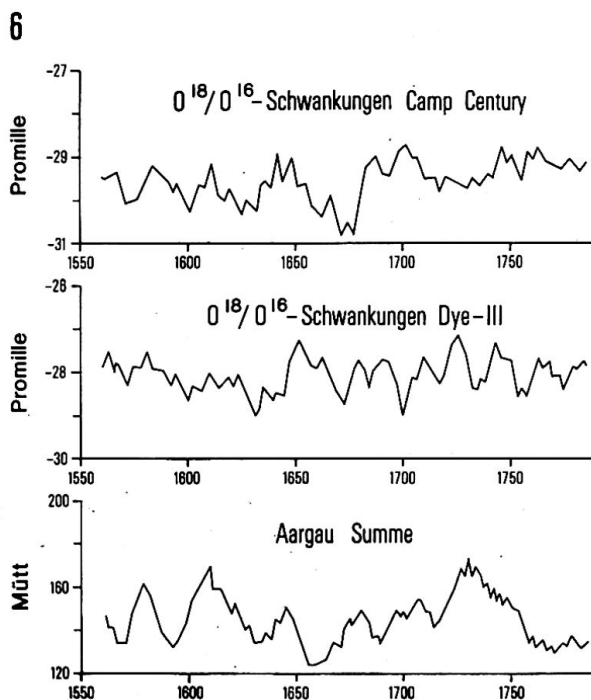
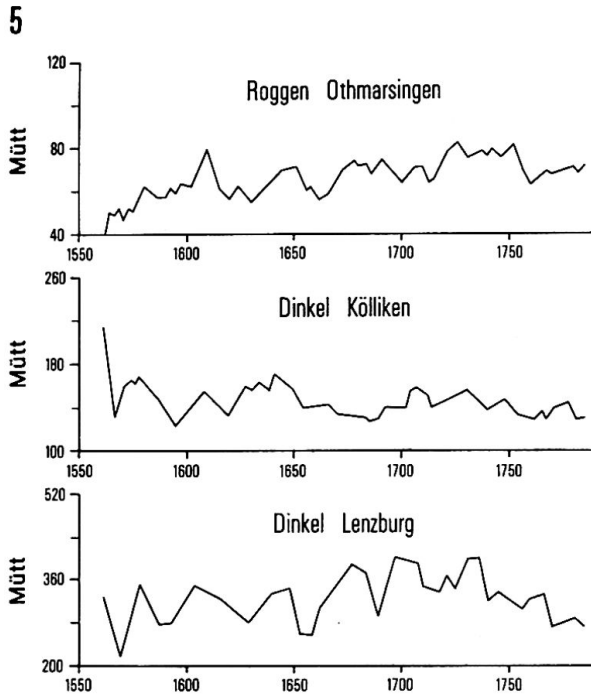
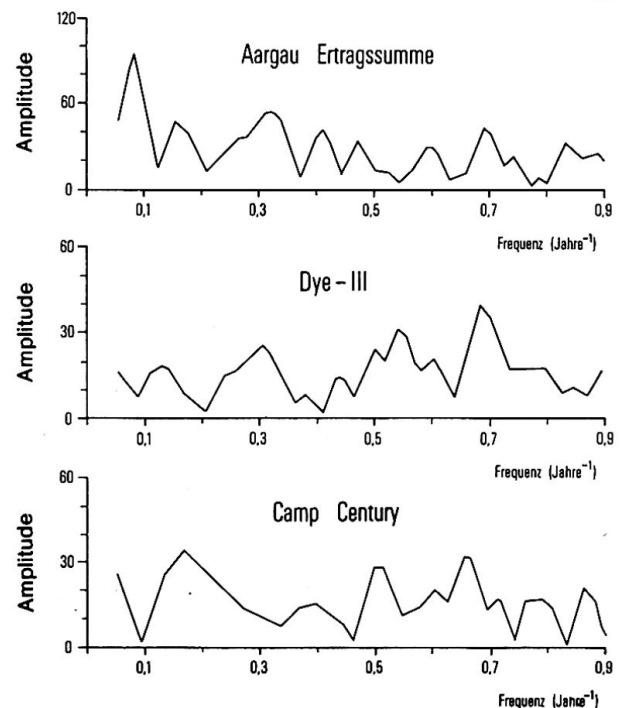
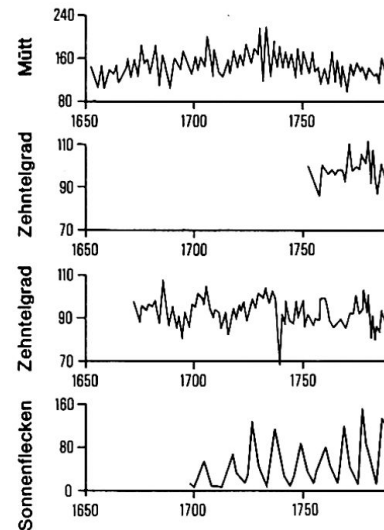


Fig. 7: Vergleich der Aargau-Erträge mit den mittleren Jahrestemperaturen von Genf (2. Kurve von oben) und England (3. Kurve von oben) und den Sonnenflecken-Relativzahlen (unterste Kurve).

Fig. 8: Power-Spektrum der Kurve Aargau-Erträge und der Analyseergebnisse von Dey-III und Camp Century (Grönland).



reihen verschiedener Ortschaften untereinander beträgt zwischen 0.1 und 0.2 (Der Korrelationskoeffizient 1 bedeutet vollständige lineare Abhängigkeit zweier Reihen; der Koeffizient 0, daß keine Abhängigkeit vorhanden ist). Eine gewisse Korrelation ist zwar nach dem t-Test signifikant; diese Aussage ist jedoch trivial, da die Ernteerträge verschiedener Ortschaften einer Region aus verschiedenen Gründen nicht ganz unabhängig voneinander sind. Darüber, ob in den Ernteerträgen eine überregional gültige Klimainformation enthalten ist, gibt uns die Korrelation keine Auskunft. Jedenfalls ist es schwierig, diese Klimainformation aus den übrigen lokal bedingten und zufälligen Schwankungen herauszufiltern. Die lokal bedingten Schwankungen werden gedämpft, wenn sich Ernteerträge von möglichst vielen Ortschaften summieren lassen. Summieren wir aber die Werte der vier ausgewählten Ortschaften, dominieren die Erträge von Lenzburg so stark, daß die Summenkurve praktisch die Charakteristik von Lenzburg allein aufweisen würde. Wir geben deshalb den Ernteerträgen der kleinen Ortschaften größeres Gewicht und bilden für jedes Jahr einen Summenertrag wie folgt:

Ertragssumme

= 6 x Jahresertrag Korn Küttigen
 + 10 x Jahresertrag Haber Küttigen
 + 5 x Jahresertrag Roggen Othmarsingen
 + 2 x Jahresertrag Dinkel Kölliken
 + 1 x Jahresertrag Dinkel Lenzburg

Diese Ertragssumme, die alle Ortschaften ungefähr gleich berücksichtigt, nennen wir «Jahresertrag Aargau», da wir glauben, daß diese Summe für die betreffende Region charakteristisch ist. Die rein lokal bedingten Einflüsse, die nur eine Ortschaft betreffen, sind auf $\frac{1}{4}$ gedämpft. Die gleitenden Mittelwerte über 10 Jahre dieser Ertragssummen sind in Fig. 6 dargestellt. Wir wollen diese Daten mit den Daten von $^{180}/^{160}$ Analysen an Eiskernen aus Grönland vergleichen.

Vergleich von Ernteerträgen mit anderen Klimadaten

Im Eis der Polarkappen liegt Klimainformation der letzten paar Jahrtausende verschlüsselt gespeichert. Im Jahr 1966 gelang es L. Hansen (UEDA, 1968) den grön-

ländischen Eisschild bei Camp Century zu durchbohren. Dabei wurden Bohrkern von 12 cm Durchmesser gewonnen. Das Eis auf dem Grund des Eisschildes hat ein Alter von mehreren tausend Jahren. Die Jahresschichten, die entsprechend einer jährlichen Niederschlagsmenge von 35 cm W.ä. pro Jahr, an der Oberfläche ca. 40 cm betragen, sind in dieser Tiefe durch das Fließen des Eises sehr dünn. Uns interessieren hier aber ohnehin nur die obersten 300 m der Eiskerne. W. DANSGAARD (1969b) hat an diesen Bohrkernen $^{180}/^{160}$ Analysen durchgeführt. Das Verhältnis des schweren Sauerstoffisotopes 180 zum häufigsten Sauerstoffisotop 160 ist stark abhängig von der Temperatur während des Niederschlags. Wie W. DANSGAARD (1961) zeigen konnte, besteht heute zwischen dem $^{180}/^{160}$ -Verhältnis der Schneeschicht eines Jahres und der entsprechenden mittleren Jahrestemperatur ein linearer Zusammenhang. Der Zusammenhang gilt streng nur für Grönland. Im Sommer 1971 wurde in Dye III in Grönland eine Kernbohrung bis 400 m Tiefe durchgeführt. Hier wurden die $^{180}/^{160}$ Analysen an mehreren Proben pro Jahr vorgenommen, so daß selbst die jahreszeitlichen Schwankungen registriert werden konnten (DANSGAARD, 1973). Dadurch ist es möglich, die Jahresschichten abzuzählen, ähnlich wie Baumringe. In Camp Century mußte das Alter einer bestimmten Tiefe mit Modellrechnungen ermittelt werden (DANSGAARD, 1969a). Die Ergebnisse der $^{180}/^{160}$ Analysen ist in Figur 6 dargestellt.

Der Vergleich der beiden $^{180}/^{160}$ Kurven untereinander und mit der Ertragsreihe «Aargau» führt zu ungefähr gleichen Schlussfolgerungen, wie der Vergleich der Ertragsreihe der einzelnen Ortschaften untereinander.

Eine Korrelation der Jahreswerte der beiden Stationen ist sinnlos, da die Datierung nicht auf ein Jahr genau ist. Wir haben die gleitenden Mittelwerte über zehn Jahre mit denjenigen der Ertragskurve «Aargau» korreliert. Die Korrelationskoeffizienten betragen:

Ertragskurve Aargau $^{180}/^{160}$ Analyse Camp Century: 0,16

Ertragskurve Aargau $^{180}/^{160}$ Analyse Dye III: 0,13

Die Korrelationskoeffizienten sind also von der gleichen Größenordnung wie diejenigen beim Vergleich der einzelnen aargauischen Ertragswerte untereinander. Die Signifikanzschwelle nach dem t-Test beträgt für 5% Irrtumswahrscheinlichkeit 0.13 (TAUBENHEIM, 1969). Wir haben also mit großer Wahrscheinlichkeit eine

signifikante Korrelation, und diese Aussage ist nun durchaus nicht trivial, da es nicht auf der Hand liegt, daß Ernteerträge im Aargau und Jahrestemperaturen in Grönland in Zusammenhang stehen. Es ist ein Hinweis darauf, daß gewisse Schwankungen der Ernteerträge durch weiträumig wirksame Klimaschwankungen bedingt sind. Um eindeutige Rückschlüsse von Daten wie den vorliegenden auf weiträumige Klimaschwankungen ziehen zu können, braucht es viel mehr Datenmaterial, vor allem auch möglichst räumlich gestreute und auf verschiedene Arten gewonnene Daten. Von großem Interesse ist natürlich die Frage, wie groß die Klimaschwankungen bei uns waren, die die Ertragsschwankungen bei der Dreifelderwirtschaft verursachten. Die ältesten gemessenen Jahrestemperaturen in der Schweiz liegen aus Genf seit 1753 vor (SCHÜEPPE, 1959). Wir haben somit eine kleine zeitliche Überlagerung mit unserer Zeitreihe. Die älteste mit Instrumenten gemessene Temperaturreihe stammt aus England; sie beginnt im Jahr 1671. Die mittleren Jahrestemperaturen von Genf und von Zentralengland sind zusammen mit den Jahreserträgen «Aargau» in Figur 7 dargestellt. In der gleichen Darstellung sind noch die Sonnenflecken Relativzahlen seit 1700 (WALDMEIER, 1961) aufgetragen. Diese Relativzahlen wurden schon vielfach mit Klimadaten verglichen. Die Korrelation der Jahrestemperaturen von Genf und der Ertragswerte «Aargau» ergeben einen Korrelationskoeffizienten von 0,14, der infolge der kleinen Anzahl Wertepaare unterhalb der Signifikanzschwelle liegt. Wir können keinen Regressionskoeffizienten ausrechnen. Eine sehr grobe Schätzung zeigt, daß eine Schwankung der Jahrestemperatur in Genf von 0,1° C einer Schwankung des Ernteertrages im Aargau von ungefähr 3% entspricht.

Ob Klimaschwankungen periodisch verlaufen, wurde schon sehr viel diskutiert. Wenn man die Ertragskurve «Aargau» betrachtet, ist man versucht, auch hier nach Periodizitäten zu suchen. Wir haben deshalb die Reihe der Jahreserträge harmonisch analysiert. Da unser Beobachtungsintervall ein kleiner, zufälliger Ausschnitt aus einer sehr langen Zeitreihe ist, verwendeten wir das Fourier Integral und machten die vereinfachende Annahme, daß die Erträge außerhalb des Beobachtungsintervalls konstant waren und dem mittleren Ertrag des Beobachtungsintervalls entsprochen hätten. Das Fourier Integral lautet:

$$F(w) = 2 \int_0^{\infty} dw \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)(\cos wt + \sin wt) dt$$

und die Formel für die Amplitude $a(w)$ des Powerspektrums lautet:

$$a(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)(\cos wt + \sin wt) dt$$

wobei $f(t)$ die Ertragskurve bedeutet.

Das Powerspektrum $a(w)$ der Ertragskurve «Aargau» und der 180/160 Analysenergebnisse von Camp Century und Dye III sind in Figur 8 dargestellt. Für unsere Ertragssumme «Aargau» ergibt sich eine markante Periode von 32 Jahren (auch 64 und ca. 128 Jahre) mit einem ersten Maximum um 1580. Die Werte von Dye III weisen eine Periode von 33 Jahren auf mit einem Maximum ebenfalls um 1580.

Schlußbetrachtung

Die Frage nach den Klimaschwankungen und ihren möglichen Ursachen hat in den letzten Jahren immer mehr Raum in Facharbeiten und in populärwissenschaftlichen Aufsätzen gefunden. Vor allem gilt das Interesse den Langzeit-Schwankungen. Aber gerade die Untersuchung dieser Klima-Änderungen, die sich über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte erstrecken, stößt immer wieder an die Grenze, die dadurch gesetzt wird, daß genaue und relativ lückenlose Datenreihen nur um wenige Jahrhunderte zurückreichen, weshalb längere Periodizitäten mathematisch nicht mehr überzeugend nachgewiesen werden können. Aus der Zeit vor der Instrumenten-Beobachtung liegen einzig Informationsreihen vor, in denen Witterungs- oder Klimaeinflüsse nur indirekt zum Ausdruck kommen, Daten also, die eben nicht nur vom Klima, sondern oft von zahlreichen andern, uns nicht immer bekannten Faktoren abhängig waren. Dies zeigt einerseits, wie problematisch es ist, solche Reihen – wie zum Beispiel auch die hier vorgelegten Erntedaten – überhaupt als Grundlage zu verwenden. Die Gefahr ist groß, daß aus den Ergebnissen falsche Schlüsse gezogen werden; und doch müssen wir uns andererseits eingestehen, daß solche Daten zu den wenigen objektiv faßbaren Informationsquellen zählen und damit einen der wenigen Wege anbieten, die in die frühere Klimageschichte zurückführen. Je mehr solcher Reihen zu Vergleichen herangezogen werden können, desto besser lassen sich lokale und andere singuläre Einflüsse oder Ereignisse herausfiltern. Das über-

raschende optische Bild, das die Datenreihen von Küttingen (Fig. 2) ergaben, veranlaßte uns, nach weiteren ähnlichen Reihen zu suchen. Das Resultat dieses zweiten Schrittes, dargestellt in der Aargau-Kurve, war für uns recht überraschend; noch überraschender war schließlich die Ähnlichkeit der Periodizitäten aus dem Aargau mit jenen der Untersuchungsreihen von Dye III auf Grönland, die ja auf völlig anderen Datenreihen basieren und aus einem ganz andern Teil der Erdoberfläche stammen.

Vielleicht ist es vermessen, in einer solchen weitgehenden Übereinstimmung, die wohl kaum zufällig sein dürfte, eine Rechtfertigung der großen Aufwendungen für die zahlreichen und kostspieligen Untersuchungen zu erblicken. Und doch scheint uns, daß wir den in ihren Ursachen immer noch rätselhaften längerfristigen Klimaschwankungen nur so auf den Grund kommen können, daß wir von möglichst vielen Seiten her das Phänomen, dessen Klärung sicher unbestritten ist, anzupacken uns bemühen. In diesem Sinne ist unser Arbeitsbericht als kleiner Beitrag der interdisziplinären Zusammenarbeit gedacht.

Referenzen

- DANSGAARD, W.: 1961, The isotopic composition of natural waters, *Meddelelser om Grönland*, Bd. 165, No. 2
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S. J.: 1969a, A flow model and a time scale for the ice core from Camp Century, Greenland, *Journal of Glaciology*, Vol. 8
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S. J., MÖLLER, J., LANGWAY, C. C.: 1969b, One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland ice sheet, *Science*, Vol. 166
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S. J., CLAUSEN, H. B., GUNDESTRUP, N.: 1973, Stable isotope glaciology, *Meddelelser om Grönland*, Bd. 197, Nr. 2
- FÜRST, O.: 1963, Vergleichende Untersuchungen über räumliche und zeitliche Unterschiede interannueller Jahringbreitenschwankungen und ihre klimatologische Auswertung, *Flora* 153
- HUBER, B.: 1964, Radiocarbon und Jahrringforschung im Dienste der Geochronologie, *Mitt. der Staatsverwaltung Bayerns*, Heft 34
- LADURIE, LE ROY.: 1967, *Histoire du climat depuis l'an mille*, Flammarion
- RUDLOFF, H. v.: 1967, Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmäßigen Instrumentenbeobachtungen, *Vieweg*
- SCHÜEPP, M.: 1961, *Klimatologie der Schweiz*, Lufttemperatur, Beiheft zu den *Annalen der schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt* 1960
- SCHULMANN, E.: 1953, Tree-ring Evidence for Climatic Change, in *Climatic Change*, Harvard University Press.
- Staatsarchiv Aargau: Amtsrechnungen der Oberämter Biberstein und Lenzburg, nach den Nrn. des Repertoriums des Aargauischen Staatsarchivs, bearb. von Walter Merz, Küttigen Nrn. 238-252, Kölliken, Othmarsingen und Lenzburg Nrn. 830-849.
- TAUBENHEIM, J.: 1969, Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten, *Geest u. Portig*, Leipzig.
- UEDA, H. T., GARFIELD, D. E.: 1968, Drilling through the Greenland Ice Sheet *CRREL Report* SR 126
- WALDMEIER, M.: 1961, *The Sunspot-Activity in the Years 1610-1960* Schulthess & Co., Zürich

Prof. W. Dansgaard und Dr. H. von Rudloff haben uns auch unveröffentlichte Daten zur Verfügung gestellt, wofür wir ihnen bestens danken.